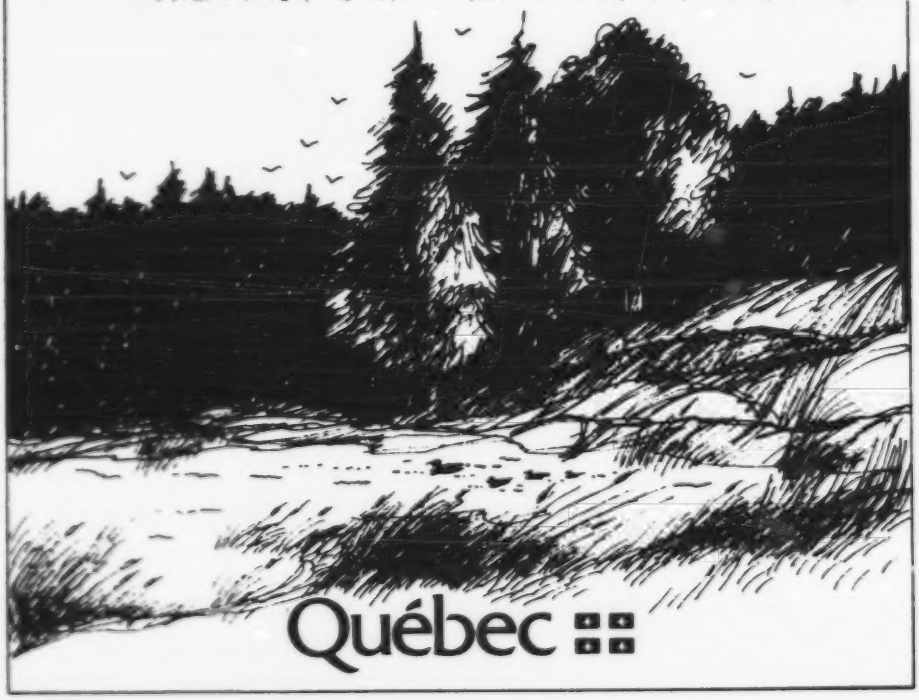
CONCENTRATIONS RÉSIDUELLES DE GLYPHOSATE DANS L'EAU DE SURFACE EN MILIEU FORESTIER, SUITE À DES PULVÉRISATIONS TERRESTRES, 1985.



Québec

88-00076/

CONCENTRATIONS RÉSIDUELLES DE GLYPHOSATE DANS L'EAU DE SURFACE EN MILIEU FORESTIER, SUITE À DES PULVÉRISATIONS TERRESTRES, 1985

Jean Legris, biologiste
Gisèle Couture, tech. de la faune
Luc Laberge, biologiste
Guy Mamarbachi, chimiste

Service des études environnementales

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Direction de la conservation

Québec, mai 1987

©Gouvernement du Québec
Dépôt légal - 3e trimestre 1987
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-17285-X
Publication: 3315

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes qui ont collaboré à la réalisation de cette étude :

du Service des études environnementales du ministère de l'Énergie et des Ressources,

Marie-France Bérubé, secrétaire;

Réjeanne Bissonnette, linguiste;

Agathe Cimon, biologiste;

Christiane Cantin, étudiante;

Gilles Gaboury, biologiste et chef du Service;

Pierre-Martin Marotte, biologiste;

Nicole Nadeau, technicienne de laboratoire;

Robert St-Laurent, étudiant.

Nous remercions également le personnel affecté aux pulvérisations de phytocide dans chacune des unités de gestion concernées.

RÉSUMÉ

En 1985, dans le cadre de son programme d'entretien de plantations, le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) a utilisé du glyphosate (Roundup^{MD}) pour contrôler la végétation compétitive des espèces reboisées. Les pulvérisations ont été faites par voie terrestre.

La présente étude a été effectuée dans le but d'analyser le comportement des quantités résiduelles de glyphosate dans les eaux des milieux lentique et lotique. Les données utilisées ont été recueillies dans le cadre de trois projets de pulvérisations réalisés en milieu forestier, dans l'est de la province de Québec. En milieu lentique, directement exposé aux pulvérisations, la concentration maximale trouvée dans l'eau, une heure après l'opération, est de 1 543 µg/l. Cette concentration diminue au moins de moitié après douze heures et elle n'est plus que le centième de la valeur maximale après 86 heures. En zone lotique, protégée par des bandes de protection, seulement 4 des 54 échantillons analysés dépassaient la limite de détection, soit 1,00 µg/l. La concentration maximale relevée fut de 4,72 µg/l. Ces résultats sont conformes à ceux qui sont rapportés dans la littérature.

La représentativité des échantillons ponctuels a été vérifiée et ceux-ci reflètent bien l'ordre de grandeur des concentrations de résidus que nous retrouvons dans les eaux des milieux lentique et lotique.

De plus, l'influence de la largeur des bandes de protection sur les résidus trouvés dans les eaux de milieu lotique a été évaluée. Selon nos résultats, lorsqu'on utilise du Roundup^{MD} et des pulvérisateurs à barillet de type BoomJet^{MD}, les bandes de protection de 30 mètres semblent aussi efficaces que celles de 60 mètres en bordure des cours d'eau. Il est recommandé d'amorcer l'étude des résidus dans les sédiments.

Mots-clés: glyphosate, résidus, eau, persistance, représentativité des échantillons, bande de protection

LEGRIS, J., G. COUTURE, L. LABERGE et G. MAMARBACHI, 1987. Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de surface en milieu forestier suite à des pulvérisations terrestres, 1985. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3315, 35 p.

ABSTRACT

As part of its 1985 plantation tending program, the ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MER) used glyphosate (Roundup^R) to control competing vegetation in afforested sites. Sprayings were carried out by means of ground applications.

The data were collected within the framework of three forest spraying projects conducted in Eastern Québec. This report discusses the behavior of residual quantities of glyphosate in lentic and lotic waters. In lentic waters, directly exposed, the maximum concentration one hour after spraying was 1,543 µg/l. After twelve hours, it had dropped by at least one half and after 86 hours, it represented less than one percent of the maximum concentration. In lotic waters, protected by a buffer zone, only 4 out of the 54 samples analyzed had concentrations exceeding the limit of detection, that is 1.00 µg/l, the maximum concentration being 4.72 µg/l. These results corroborate those reported in the literature.

The representativeness of the samples was verified. It was found that the samples used accurately reflect the residual concentration levels present in lentic and lotic waters.

The relation between a buffer zone and residual concentrations in running waters was also considered. Results show no difference either with a 60 m or a 30 m buffer zone when Roundup^R is used with BoomJet^R type sprayers. It is recommended to begin studying residual concentration in sediments.

Key Words: glyphosate, residues, water, persistence, sample representativeness, buffer zone.

LEGRIS, J., G. COUTURE, L.LABERGE et G. MAMARBACHI. Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de surface en milieu forestier suite à des pulvérisations terrestres, 1985. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, #3315, 35 p.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iii

RÉSUMÉ v

ABSTRACT vii

TABLE DES MATIÈRES ix

LISTE DES TABLEAUX xi

LISTE DES FIGURES xi

INTRODUCTION 1

1. LE PROGRAMME DE PULVÉRISATIONS 3

1.1 Description des superficies traitées 3
1.1.1 Le projet Chapais 4
1.1.2 Le projet Kedgwick 4
1.1.3 Le projet Lac Castor 5
1.2 Produit et technique de pulvérisation 6

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES 7

2.1 Matériel et technique de prélèvement 7
2.2 Méthode analytique et contrôles 8
2.2.1 Validation de la méthode d'analyse 9
2.2.2 Vérification du mode de conservation des échantillons 10
2.3 Méthode d'échantillonnage 12
2.3.1 Variabilité des échantillons "identiques" 12
2.3.2 Les milieux lentique et lotique 12
2.3.3 L'influence de la largeur des bandes de protection 13

3. DESCRIPTION DES STATIONS ET DE L'ÉCHANTILLONNAGE 15

3.1 Les stations du projet Chapais 15
3.2 Les stations du projet Kedgwick 16
3.3 Les stations du projet Lac Castor 18

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION 21

4.1 Variabilité des échantillons "identiques" lors de l'échantillonnage de résidus de glyphosate dans l'eau des milieux lentique et lotique 21

4.2 Comportement du glyphosate dans l'eau, en milieu lentique 22
4.3 Comportement du glyphosate dans l'eau, en milieu lotique 27
4.4 Influence de la largeur des bandes de protection aux abords des cours d'eau sur les concentrations résiduelles 30

CONCLUSION 31

BIBLIOGRAPHIE 33

ANNEXE: Précipitations enregistrées en août 1985, à proximité des projets Chapais, Kedgwick et Lac Castor 35

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: Principales caractéristiques des projets retenus pour l'étude du comportement du glyphosate en milieu aquatique, 1985 5

TABLEAU 2: Résultats du test de récupération du glyphosate dans l'eau 9

TABLEAU 3: Concentrations de glyphosate dans des échantillons "identiques" récoltés dans l'eau des milieux lentique et lotique 21

TABLEAU 4: Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau, en fonction du temps, en milieu lentique avec et sans écoulement, au projet Lac Castor, 1985 23

TABLEAU 5: Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau, en milieu lotique, 1985 28

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: Localisation des projets de pulvérisations échantillonnés en 1985, dans le cadre de l'étude du comportement du glyphosate en milieu aquatique 3

FIGURE 2: Localisation des zones de pulvérisation du projet Chapais 1985 et des stations d'échantillonnage en milieu lotique 15

FIGURE 3: Localisation des zones de pulvérisation du projet Kedgwick 1985 et des stations d'échantillonnage en milieu lotique 17

FIGURE 4: Localisation des zones de pulvérisation du projet Lac Castor 1985 et des stations d'échantillonnage en milieux lotique et lentique 19

FIGURE 5: Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau (%), en fonction du temps, en milieu lentique avec et sans écoulement, au projet Lac Castor, 1985 24

INTRODUCTION

En 1985, dans le cadre de son programme d'entretien des plantations, le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MER) a utilisé du glyphosate (Roundup^{MD}) pour contrôler la végétation compétitive des espèces reboisées. On a employé des pulvérisateurs à barillet de type BoomJet^{MD} pour traiter environ 2 500 hectares par voie terrestre.

Plusieurs études visant à mieux connaître le comportement du glyphosate dans diverses composantes de l'environnement ont été réalisées lors des travaux de dégagement de la régénération de conifères effectués en milieu forestier. L'eau, le sol, la végétation et les fruits sauvages ont fait l'objet de contrôles et de suivis environnementaux.

La présente étude vise plus spécifiquement à connaître le comportement des concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de surface lors de ces travaux. Deux types de milieu ont été étudiés dans trois secteurs. Deux mares traitées directement et dont l'une possédait un écoulement superficiel représentaient le milieu lentique. Trois cours d'eau ont permis d'étudier le comportement du glyphosate, en milieu lotique, en tenant compte des zones de protection de 60 et 30 mètres (non traitées) le long des cours d'eau.

De plus, deux séries d'échantillons "identiques" ont été prélevées pour vérifier la représentativité des échantillons ponctuels utilisés dans cette étude.

Des données relatives à la validation de la méthode d'analyse ainsi qu'à l'influence du temps et du mode de conservation des échantillons sur les concentrations mesurées complètent cette étude.

1. LE PROGRAMME DE PULVÉRISATIONS

1.1 Description des superficies traitées

Trois projets de pulvérisations en milieu forestier ont été sélectionnés aux fins de cette étude. Les aires traitées dans le cadre de ces projets sont représentatives des superficies habituellement traitées par le MER. Elles sont situées dans l'est du Québec, dans la région du Bas-Saint-Laurent, Gaspésie. La figure 1 permet de situer les projets Chapais, Kedgwick et Lac Castor échantillonnés en 1985 alors que le tableau 1 résume les principales caractéristiques de chacun de ces projets.

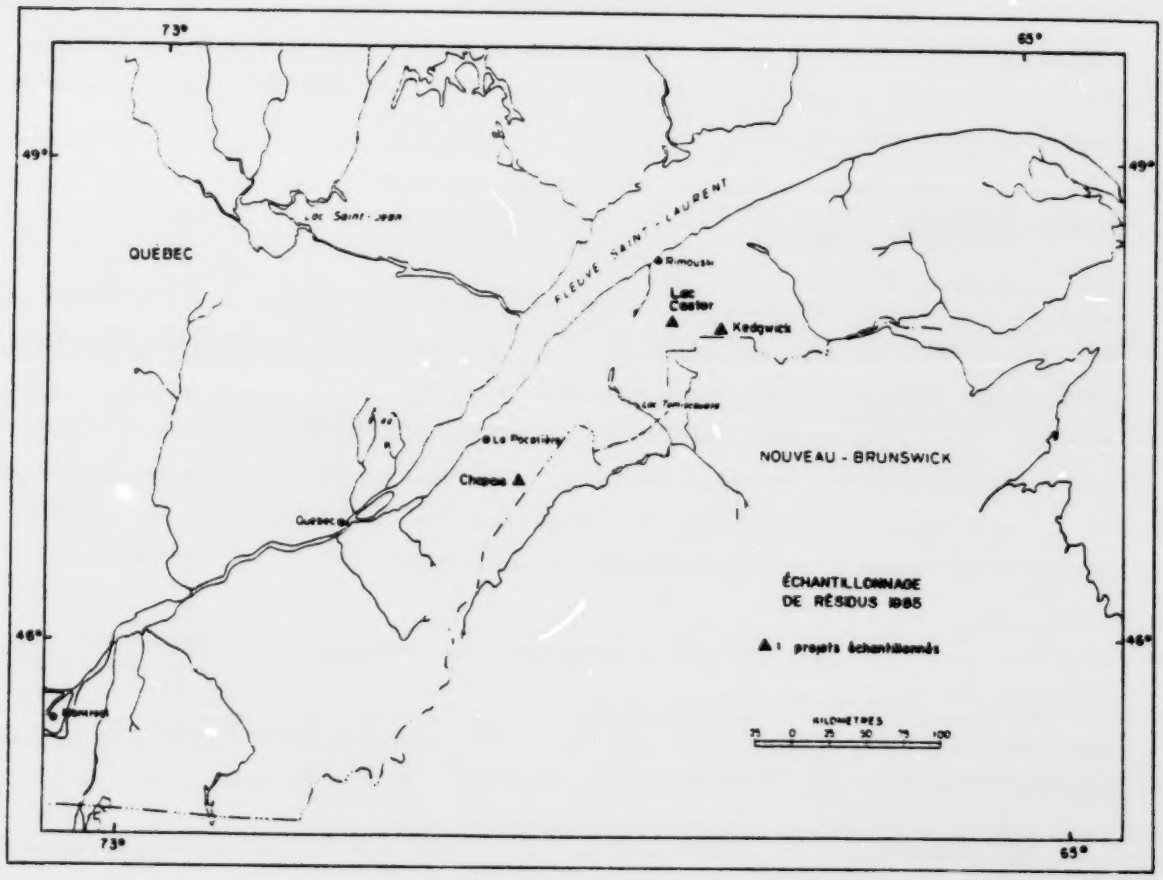


FIGURE 1: Localisation des projets de pulvérisations échantillonnés en 1985, dans le cadre de l'étude du comportement du glyphosate en milieu aquatique

1.1.1 Le projet Chapais

Ce projet est réalisé dans le canton de Chapais, près du village de Saint-Pamphile. Ce site de 279 hectares a subi des coupes forestières de 1977 à 1979. En 1982 et 1983, le terrain a été préparé à l'aide d'un scarificateur muni de barils et de chaînes.

Le site a été reboisé avec des plants d'Épinette noire (Picea mariana) en 1983 (152 ha) et en 1984 (120 ha). On a planté environ 2 500 tiges à l'hectare. En 1985, le pourcentage de survie de ces plants était évalué à 82%. La couverture des espèces compétitrices représentait alors environ 75%. Les feuillus intolérants (Prunus pensylvanica, Populus tremuloïdes), d'une hauteur moyenne de 2 mètres avaient une importance relative de 35%. Le Framboisier (Rubus idaeus) occupait à lui seul 26% de la superficie tandis que l'Epilobe à feuilles étroites (Epilobium angustifolium) et les autres plantes herbacées représentaient environ 39%.

1.1.2 Le projet Kedgwick

Le site du projet Kedgwick se trouve dans le canton du même nom à proximité des frontières du Nouveau-Brunswick. On y a pratiqué des coupes de 1976 à 1980. En 1984, 534 hectares ont été reboisés, avec de l'Épinette noire surtout. Seule la partie sud du projet a été considérée aux fins de la présente étude, soit environ 310 hectares. Une coupe forestière a eu lieu dans ce secteur en 1978 et, quatre ans plus tard on avait préparé le terrain à l'aide d'un écraseur de marque Marathon-Létourneau.

En 1984, on y plantait quelque 2 200 tiges de résineux à l'hectare. L'année suivante, le taux de survie des jeunes plants était évalué à 83,4%. Les espèces compétitrices, Framboisier en tête (90%), constituaient environ 85% du couvert forestier qui atteignait en moyenne 1 mètre de haut. Des feuillus intolérants de 2 mètres colonisaient aussi ce site.

1.1.3 Le projet Lac Castor

Les superficies couvertes pour ce projet se trouvent à environ 50 km au sud-est de Rimouski. Les aires qui nous intéressent plus particulièrement avaient subi des coupes de 1977 à 1980 avant d'être préparées avec un appareil de marque Marathon-Létourneau, en 1983, puis reboisées, avec de l'Épinette noire, au printemps et à l'automne 1984. En 1985, le taux de survie enregistré était d'environ 83%. La compétition végétale atteignait 1 mètre de hauteur et elle constituait 90% de l'ensemble de la végétation. Le Framboisier était de loin l'espèce dominante (80%). En maints endroits, il était accompagné de l'Epilobe à feuilles étroites.

TABLEAU 1: Principales caractéristiques des projets retenus pour l'étude du comportement du glyphosate en milieu aquatique, 1985

Caractéristiques	Projets		
	Chapais	Kedgwick	Lac Castor
Coupes précédentes	1977 à 1979	1978	1977 à 1980
Superficie	279 ha	310 ha	306 ha
Préparations antérieures (année)	Scarificateur à barils et à chaînes (1982-83)	Écraseur Marathon-Létourneau[MD] (1982)	Écraseur Marathon-Létourneau[MD] (1983)
Superficie reboisée (année)	152 ha (1983) 120 ha (1984)	310 ha (1984)	225 ha (1984)
Principale essence reboisée	Epinette noire	Epinette noire	Epinette noire
Couverture des espèces compétitrices (%)	75	85	90
Importance relative des espèces compétitrices	Epilobes et autres herbacées 39 % Feuillus intolérants 35% Framboisiers 26%	Framboisiers 90% Feuillus intolérants 10%	Framboisier 80% Epilobes 20%
Périodes de pulvérisation	13 au 30 août	2 au 15 août	16 au 26 août
Nombre de pulvérisateurs	2	4	4

1.2 Produit et technique de pulvérisation

Au cours des projets réalisés en 1985, on a utilisé du Roundup[MD] sous forme de liquide soluble à l'eau, fabriqué par Monsanto Canada Ltd. Ce produit contient 41% de sel isopropylaminique de glyphosate et 59% d'additifs (eau et adjuvants). Son ingrédient actif est le glyphosate (N-[phosphonométhyle]-glycine); chaque litre de Roundup[MD] en renferme 356 grammes.

La dose appliquée était de 1 495 grammes d'ingrédients actifs par hectare. Les trois sites étudiés ont été traités par voie terrestre avec des pulvérisateurs à barillet de type BoomJet[MD]. La largeur de la bande effective de pulvérisation était de 15 mètres. Ces appareils pulvérisaient 424,2 l de bouillie par hectare.

Quatre appareils étaient employés simultanément dans le cas du projet Kedgwick. Ce premier site a été traité du 2 au 15 août 1985, après quoi l'équipement a été déménagé sur le site du projet Lac Castor, où les travaux se sont déroulés du 16 au 26 août de la même année. Deux appareils de même type ont été utilisés, entre les 13 et 30 août 1985, dans le cadre du projet Chapais.

Les périodes d'opérations sont limitées par divers facteurs: la vitesse du vent doit être inférieure à 8 km/h, l'humidité relative supérieure à 50% et la température à l'ombre, inférieure à 24°C. Comme la pluie peut réduire l'efficacité du traitement, on recommande de s'assurer qu'il ne pleuvra pas moins de quatre heures après la fin des pulvérisations. Les conditions favorables sont souvent réunies à la levée et à la tombée du jour. De plus, les pulvérisations ont lieu à la fin de l'été, alors que l'aoûtement des conifères est terminé.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Matériel et technique de prélèvement

Des pots en verre d'une capacité d'un litre, de marque Mason[MD], ont été utilisés pour prélever les échantillons. On a choisi ces contenants à cause de leur ouverture très large qui facilite la prise de l'échantillon. Les récipients avaient été préalablement décontaminés par un lavage à l'eau distillée, suivi d'un rinçage à l'acétone et d'un rinçage à l'hexane. On déposait un papier d'aluminium sur l'ouverture du pot avant d'y visser le couvercle. On prévenait ainsi tout contact de l'échantillon avec le couvercle.

La technique de prélèvement était la suivante:

a) L'échantillon était identifié à l'aide d'une étiquette portant un code indiquant sa provenance et le moment du prélèvement.
b) L'échantillonneur se décontaminait les mains avec de l'eau distillée et de l'alcool éthylique avant tout prélèvement.
c) Le récipient fermé était enfoncé manuellement dans l'eau. On l'ouvrait à une dizaine de centimètres de la surface pour prélever l'échantillon d'un litre. Le bocal était ensuite fermé, à cette même profondeur, avant d'être ramené hors de l'eau.
d) Le papier d'aluminium recouvrant l'intérieur du couvercle devait être intact, sinon il était remplacé.
e) Le récipient était alors entièrement recouvert de papier d'aluminium afin d'intercepter la lumière.
f) Une deuxième étiquette était apposée sur le papier d'aluminium.
g) L'échantillon était immédiatement placé dans une glacière et conservé à 4°C avant d'être acheminé au laboratoire, dans les plus brefs délais.

2.2 Méthode analytique et contrôles

Le dosage du glyphosate dans l'eau a été effectué par le laboratoire de chimie du Service d'entomologie et de pathologie du ministère de l'Energie et des Ressources. Ce laboratoire est maintenant rattaché au Service des études environnementales du même ministère.

On prélève 100 ml de liquide dans un échantillon donné et on le concentre jusqu'à 5 ml à l'aide d'un évaporateur rotatif placé dans un bain d'eau à 60°C. On ajoute une goutte d'acide chlorhydrique concentré au concentrat afin de ramener son pH à 2.

L'extrait est purifié par chromatographie sur résine cationique, selon la méthode de Moye et al. (1983). On prépare une colonne de 300 X 20 mm de diamètre, munie d'un verre fritté, et on y dépose une couche de laine de verre de 2 cm, puis 50 g de résine cationique et une autre couche de laine de verre. La colonne est d'abord lavée par 2 X 100 ml d'une solution d'acide chlorhydrique 0,01 M puis éluée par 120 ml de la même solution, en maintenant un débit de 2,5 ml/min. L'éluat des premiers 60 ml est rejeté et le reste est concentré à 2 ml. Parallèlement, on effectue le même mode de purification sur une solution étalon de glyphosate.

On soumet l'herbicide à une estérification puis à une acétylation en appliquant la technique de Guinivan et al. (1982). L'extrait d'eau et la solution étalon purifiée sont transvasés dans des éprouvettes, puis concentrés à sec par un courant d'azote dans un bain à 90°C. On ajoute 1,5 ml de 10% BCl_3/2-chloroéthanol à chacun des récipients et on chauffe le contenu à 110°C, pendant 45 minutes. L'excès de réactif est ensuite réduit à un volume approximatif de 0,3 ml par évaporation à 100°C. L'acétylation est menée par l'addition de 0,1 ml d'anhydride heptafluorobutyrique, dans des conditions similaires à celle de l'estérification. On ajoute 2 ml d'une solution de 2,5% d'hydroxyde d'ammonium a l'extrait contenant le glyphosate dérivé. La solution aqueuse est extraite par 2 X 4 ml d'hexane par agitation pendant deux minutes. La phase hexanique est par la suite transférée dans un tube centrifuge

de 15 ml, puis asséchée par l'introduction d'une faible quantité de sulfate de sodium.

L'identification et le dosage sont effectués à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse Hewlett Packard, modèle 5890 A, équipé de deux détecteurs spécifiques à l'azote et au phosphore (NPD). Les colonnes utilisées sont en pyrex de 60 cm de long et de 2 mm de diamètre intérieur, imprégnées de 3% OV-17 sur Gaz Chrom Q pour identification, et de 4% OV-101 + 6% OV-210, sur le même support, pour confirmation. Les températures du four, de l'injecteur et du détecteur sont respectivement de 200, 250 et 300°C. Les débits (ml/min) des différents gaz sont les suivants: hélium 30, air 70 et hydrogène 3. La limite de détection obtenue avec cette méthode est de 1,00 µg/l.[1]

2.2.1 Validation de la méthode d'analyse

Neuf tests de récupération ont été effectués afin de vérifier de la validité de la méthode d'analyse en laboratoire. Dans tous les cas, on a ajouté 40 µg/l de glyphosate à l'échantillon d'eau provenant du robinet ou d'un cours d'eau semblable à ceux étudiés. Le tableau 2 présente les résultats obtenus.

TABLEAU 2: Résultats du test de récupération du glyphosate dans l'eau

Origine de l'eau	Nombre d'analyses	Concentration préparée µg/l	Récupération moyenne µg/l	(%)	Écart min.-max. (µg/l)	(%)	Coefficient de variation (%)
robinet	5	40	37,5	94	32-41,5	80-103	9,4
rivière	4	40	36	90	33,2-38,8	83-97	8,2

[1] µg/l : micro-gramme par litre.

Les neuf tests ont permis de récupérer en moyenne 92% du glyphosate, avec un coefficient de variation se rapprochant de 8,8%. La récupération est à peu près la même, quelle que soit l'origine de l'eau.

Ces résultats se comparent à ceux d'autres chercheurs qui ont obtenu 81,5% de récupération pour des valeurs variant entre 2,5 et 150 ppb.[1] La limite de détection était alors de 2,5 ppb (Comes et al., 1976).

2.2.2 Vérification du mode de conservation des échantillons

Le mode de conservation des échantillons, entre leur prélèvement et l'analyse en laboratoire, a également été évalué. Pour ce faire, on a conservé des échantillons enrichis de 100 µg/l de glyphosate pendant des périodes variables (27, 57 et 92 jours). Quatre essais ont permis d'évaluer le pourcentage moyen de récupération pour chacune des périodes. Tous ces échantillons étaient conservés suivant les modalités retenues dans la présente recherche (température: 4°C, à l'obscurité).

Les résultats démontrent qu'avec la technique utilisée, au moins 95% du glyphosate initial est récupéré après 92 jours.

Ces essais confirment donc la validité du mode de conservation utilisé.

Période de conservation (jours)	Récupération moyenne (%)
27	95
57	100
92	99

D'autres essais ont été réalisés en acidifiant les échantillons à un pH 2 car ce procédé s'était montré intéressant pour la conservation d'autres phytocides. Pour les mêmes périodes de conservation, on a obtenu des taux de récupération moyens de 90, 64 et 77% (basés sur 4 essais chacun). Étant donné que l'acidification altère le taux de récupération moyen, elle n'a donc pas été retenue comme mode de conservation.

---

1 ppb : partie par milliard ; équivalant à micro-gramme par litre

En consultant la littérature, on constate que le glyphosate pur lorsqu'il est dissous dans l'eau distillée ou dans l'acide hydrochlorique 1 N, et conservé à la température de la pièce, demeure stable pendant plusieurs années. Bronstad et Friestad (1985) rapportent que le Roundup^{MD} conservé dans des bouteilles de verre, à la température de la pièce, ne change pas de façon notable avant 7 mois. Compte tenu de ces données, il serait intéressant de vérifier la pertinence de conserver les échantillons à 4°C. Si les résultats s'avéraient semblables aux précédents, il serait peut-être possible d'éliminer cette contrainte des procédures d'échantillonnage. On doit toutefois se rappeler qu'il y a une certaine dégradation biologique en milieu naturel.

D'autre part, mentionnons qu'à cause de sa faible pression de vapeur, l'évaporation du glyphosate dans l'atmosphère est négligeable. (Grossbard et Atkinson, 1985).

L'influence de la lumière sur le glyphosate ne semble pas faire l'unanimité chez les chercheurs. Rueppel et al. (1977) ont étudié la réaction de solutions de glyphosate placées dans un photoréacteur. Après avoir exposé des solutions aqueuses renfermant du glyphosate pendant 16 jours, l'équivalent de huit heures par jour, ils n'ont remarqué aucune altération. Ils en concluent donc que, comparativement à la décomposition microbienne, la photolyse joue vraisemblablement un rôle mineur dans la décomposition générale du glyphosate.

D'autre part, Bronstad et Friestad (1985) font état de certains résultats qui suggèrent que le glyphosate que l'on trouve dans les eaux naturelles pourrait subir des transformations en présence de lumière. Ces réactions seraient catalysées par le calcium ou d'autres ions métalliques. Par ailleurs, Lund-Hoie et Friestad (1986) ont présenté d'autres résultats qui indiquent que les rayons ultra-violets sont susceptibles de dégrader le glyphosate. On constate donc qu'il existe certaines incertitudes dans ce domaine. Bien que la tendance actuelle soit de croire que l'influence de la lumière est limitée, on préfère entourer les bouteilles d'échantillons de papier d'aluminium afin d'écarter les possibilités d'erreurs provenant de cette variable.

2.3 Méthode d'échantillonnage

La région du Québec où on a réalisé les travaux d'aménagement qui nous intéressent est généralement très accidentée. Une multitude de petits ruisseaux y coulent formant la tête des bassins de drainage.

Les pulvérisations sont généralement réparties sur plusieurs blocs. Selon ses versants, un même bloc peut se drainer, dans différents cours d'eau. Nous nous sommes donc efforcés de bien délimiter les superficies qui se drainent vers les stations échantillonnées.

2.3.1 Variabilité des échantillons "identiques"

Pour mener notre expérience, nous avons retenu une mare et un ruisseau représentatifs des milieux habituellement échantillonnés par le MER. Cinq échantillons ont été prélevés à chaque endroit, de la même façon et presque simultanément dans les milieux lentique et lotique. Le choix du site et de la période d'échantillonnage devait maximiser les chances de retrouver des résidus de glyphosate dans l'eau.

Dans le cadre du projet Lac Castor, nous avons retenu une mare sans écoulement superficiel apparent comme milieu lentique. Les échantillons ont été recueillis le 27 août 1985, 13 heures après une pulvérisation de glyphosate. Pour le milieu lotique, nous avons échantillonné un ruisseau situé en aval des blocs pulvérisés, soit à la station 0 km du projet Chapais. Les échantillons ont été prélevés le 15 août 1985, 24 heures après qu'on ait traité une superficie de 58 hectares dans ce secteur. Ce ruisseau était protégé par une zone non traitée large de 30 m plutôt que des 60 m habituellement exigés.

2.3.2 Milieux lentique et lotique

Pour étudier le comportement du glyphosate en milieu lotique, nous avons prélevé des échantillons d'eau à 0, 0,5 et 1,0 km environ en aval des blocs traités.

Cette façon de procéder devait nous permettre d'évaluer le cheminement du glyphosate dans le cours d'eau. La séquence théorique d'échantillonnage, soit 12, 24, 36 et 48 heures après le traitement débutait lorsqu'au moins 50% de la superficie considérée avait été traitée. Cette séquence choisie à partir d'études équivalentes réalisées antérieurement pour d'autres produits (Léveillé et Laberge, 1983; Léveillé et Laberge, 1984) devait permettre d'évaluer la persistance du glyphosate. Une zone de protection exempte de tout produit, sur une largeur de 60 ou de 30 mètres de part et d'autre du cours d'eau, est de plus respectée selon le projet.

En milieu lentique, nous devions échantillonner des mares traitées comme une superficie terrestre équivalente à 1, 8, 16, 24, 48, 72 et 96 heures après le traitement. L'eau d'une mare sans écoulement et d'une mare avec écoulement permanent a été échantillonnée.

Généralement nous n'avons prélevé qu'un seul échantillon d'un litre d'eau par station et par visite. Lorsque cela a été possible, nous avons prélevé des échantillons témoins avant les travaux dans les secteurs concernés.

2.3.3 L'influence de la largeur des bandes de protection

Nous avons étudié trois séries d'échantillons afin d'évaluer l'influence de la largeur des bandes de protection le long des cours d'eau sur les résidus de phytocide en milieu lotique :

1° projet Lac Castor, stations 0, 0,5 et 1 km, avec bande de protection de 60 m.
2° projet Kedgwick, stations 0, 0,5 et 1 km, avec bande de protection de 60 m.
3° projet Chapais, stations 0, 0,1, 0,2, 0,5 et 1 km, avec bande de protection de 30 m.

Nous avons considéré un plus grand nombre de stations au projet Chapais afin de mieux apprécier les variations de concentration de résidus dans le ruisseau protégé par une bande de protection réduite de moitié.

3. DESCRIPTION DES STATIONS

3.1 Les stations du projet Chapais

Seuls des échantillons en milieu lotique ont été recueillis dans le cadre de ce projet. Le ruisseau des Cinq Milles que nous avons étudié, a un bassin de drainage de 26 km^2 environ jusqu'à la frontière canado-américaine. (figure 2).

Ce ruisseau prend sa source à quelque cinq kilomètres en amont des superficies traitées. Un affluent le rejoint immédiatement en amont de la zone traitée. Le ruisseau des Cinq Milles coule sur près de trois kilomètres avant de

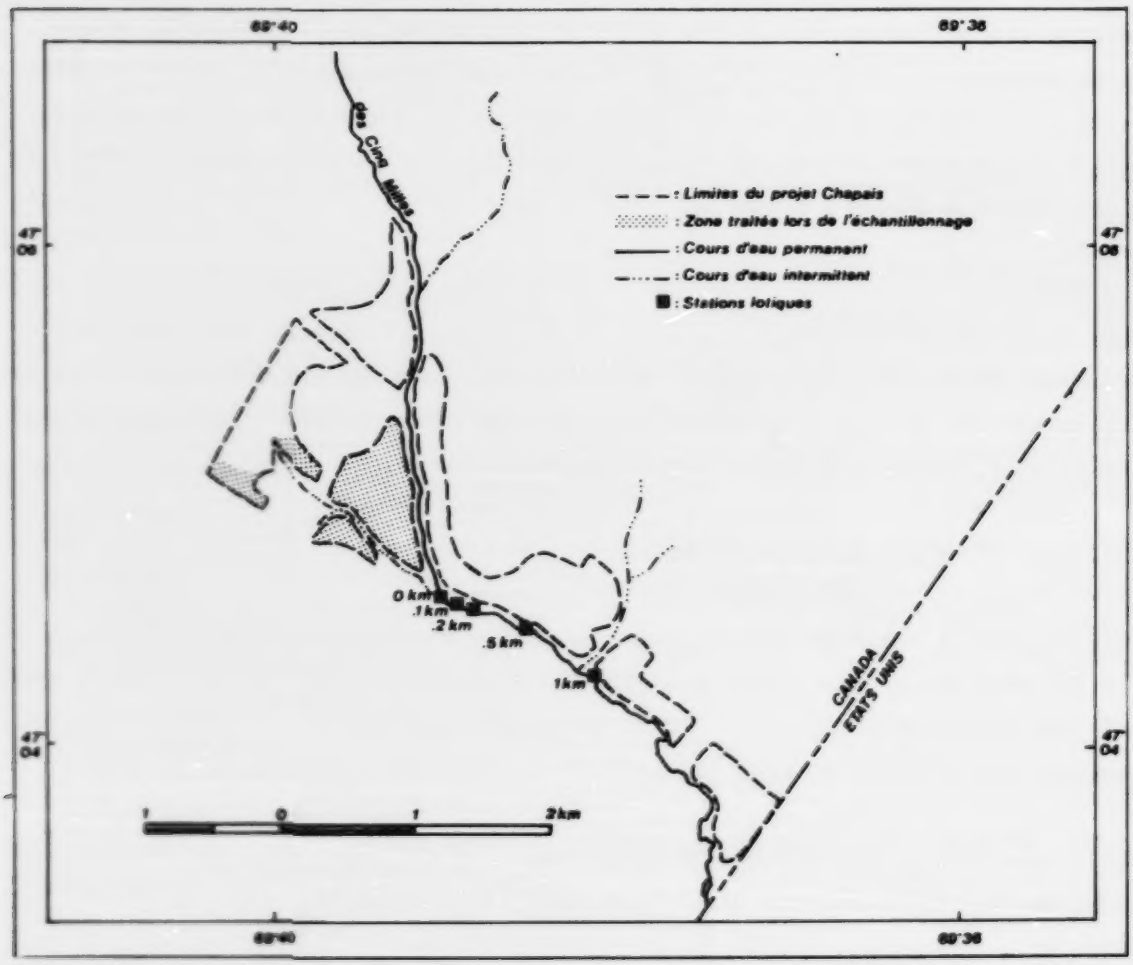


Figure 2 : Localisation des zones de pulvérisation du projet Chapais 1985 et des stations d'échantillonnage en milieu lotique

recevoir un autre tributaire à écoulement intermittent. Il y a un étang à castor à 100 m en amont de l'embouchure de ce deuxième affluent qui traverse un secteur traité.

La station 0 km, contiguë aux zones traitées, a été localisée à l'embouchure de ce tributaire. Les autres stations ont été installées en aval, le long du ruisseau, à 0,1, 0,2, 0,5 et 1,0 km. Mentionnons qu'un petit tributaire, qui ne drainait pas de zone traitée au moment de l'échantillonnage, coule à environ 200 mètres en amont de la station 1,0 km. À la station 1,0 km, le débit du ruisseau des Cinq Milles varie de 0,1 m^3/sec à 0,3 m^3/sec.

En 1985, une bande de protection de 60 m exempte de toute pulvérisation le long des cours d'eau était en vigueur lors des travaux terrestres de phytocides en milieu forestier. Cette fois-ci, nous avons voulu étudier la possibilité de réduire cette zone à 30 m. Cette bande verte renfermait des conifères matures, tels Épinette blanche (Picea glauca) et Sapin baumier (Abies balsamea), et quelques espèces de feuillus comme l'Aulne rugueux (Alnus rugosa), le Cornouiller stolonifère (Cornus stolonifera) et l'Érable à épis (Acer spicatum).

Les échantillons ont été prélevés du 14 août p.m. au 16 août a.m. dans le secteur qui nous intéresse. Les travaux de pulvérisation ont débuté le matin du 13 août. Au début des prélèvements, environ 40 ha avaient déjà été traités; le 15 août, cette superficie totalisait 65 hectares.

3.2 Les stations du projet Kedgwick

Environ 175 des 310 ha traités dans la partie sud du projet sont drainés vers le ruisseau Keg. Nous avons installé trois stations d'échantillonnage en aval de ces superficies (0, 0,5 et 1 km) pour représenter le milieu lotique. Aucune mare n'a été échantillonnée dans le cadre de ce projet.

La station 0 km est située sur un affluent du ruisseau Keg, immédiatement en aval de la majeure partie des 175 ha traités (figure 3). Cet affluent longe

des superficies traitées sur près de cinq kilomètres. Ses deux rives sont presque entièrement bordées de résineux matures formant une lisière de 20 à 40 mètres de large. Aucun produit n'a été appliqué à moins de 60 m le long du cours d'eau. À cause de la configuration particulière du site, où l'on trouve une cédrière humide, le débit de l'affluent n'a pu être calculé avec exactitude. Mentionnons toutefois, à titre indicatif, que le point d'échantillonnage

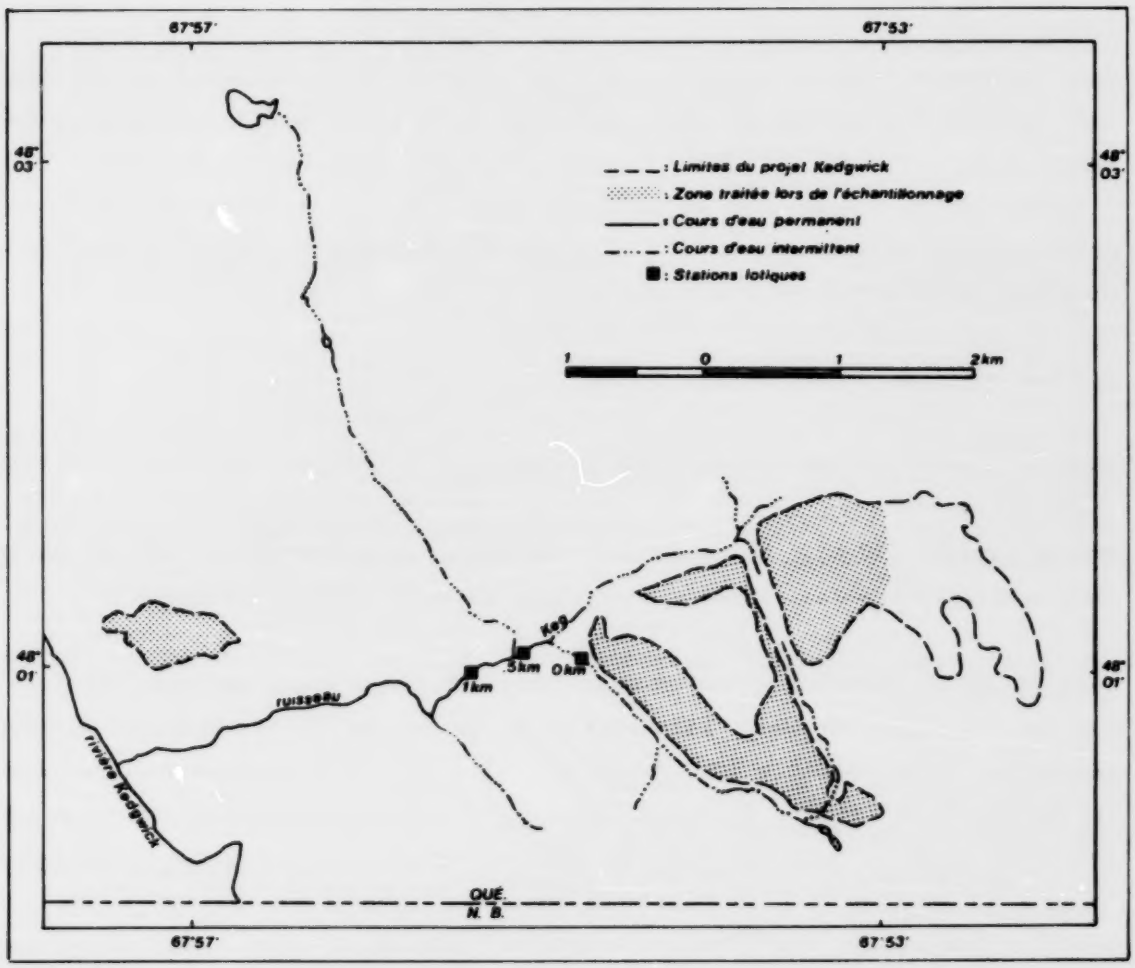


FIGURE 3: Localisation des zones de pulvérisation du projet Kedgwick 1985 et des stations d'échantillonnage en milieu lotique

avait une profondeur moyenne de 0,20 m et une largeur approximative de 3,8 m. La station 0,5 km est située sur le ruisseau Keg, en amont d'un confluent. Au moment du prélèvement, le débit du ruisseau Keg était de 0,4 m^3/sec, sa profondeur moyenne de 0,28 m et sa largeur de 2,4 m. Cette station, plutôt à découvert, est bordée d'Aulnes rugueux, de Cornouillers stolonifères et de Peupliers baumiers (Populus balsamifera). À cet endroit, le lit du ruisseau est constitué de gravier grossier. À la station 1 km, le ruisseau Keg se ramifie en plusieurs petits embranchements et le débit a donc dû être évalué en amont de la station. On l'a évalué à 0,6 m^3/sec.

Dans le secteur sud, là où on trouve les superficies drainées par le ruisseau Keg, les pulvérisations se sont déroulées du 2 au 5 août . L'échantillon témoin fut prélevé le 1er août et l'échantillonnage proprement dit débuta dans l'après-midi du 5 août pour se terminer trois jours plus tard. Au début des prélèvements, environ 150 des 175 hectares étaient déjà traités. Les superficies qui restaient étaient toutefois loin du ruisseau Keg.

3.3 Les stations du projet Lac Castor

Environ 306 ha ont été traités dans le cadre de ce projet. Les trois stations d'échantillonnage en milieu lotique ont été établies dans un secteur qui draine environ 130 ha. En raison de contraintes opérationnelles, 30 ha ont dû être traités entre les stations 0 et 1 km, durant l'échantillonnage.

Issu du lac du Castor, le ruisseau du même nom coule entre des sites traités, sur un peu plus de deux kilomètres, avant de se jeter dans la rivière Rimouski. Cette dernière longe la zone traitée sur un kilomètre environ avant la station 0 km (figure 4). Une lisière de conifères matures, de 40 à 100 mètres de largeur, longe la rivière, depuis l'embouchure du ruisseau du Castor jusqu'à la station 0,5 km. Par la suite et jusqu'à la station 1 km, une cédrière ayant jusqu'à 500 mètres de large, borde la rivière. Dans le secteur de la station 1,0 km, 250 mètres environ avant la rivière Rimouski, un ruisseau drainant une vingtaine d'hectares traités se perd dans la cédrière. Un ruisseau non permanent (fossé), susceptible de drainer une superficie traitée de 6 ha, coule juste en aval de la station 0,5 km.

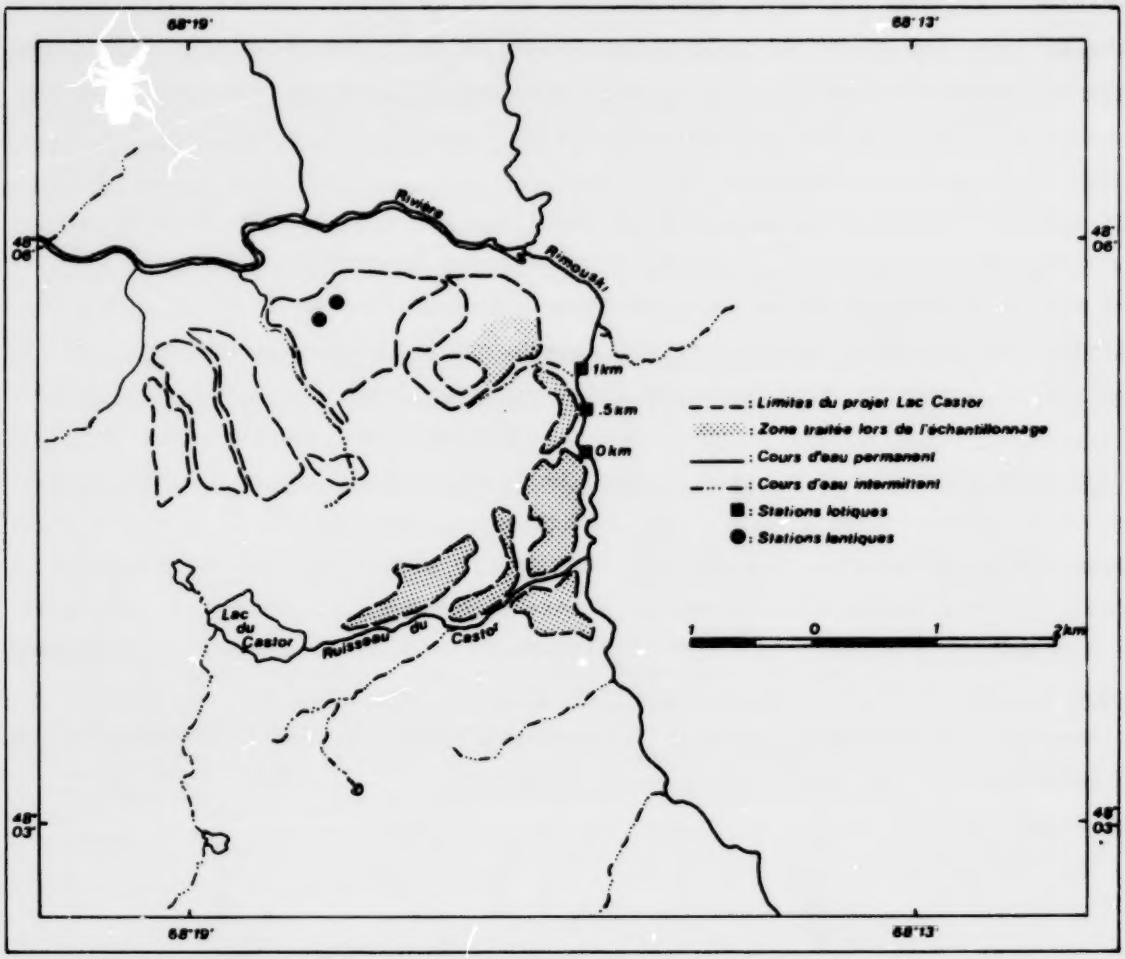


FIGURE 4: Localisation des zones de pulvérisation du projet Lac Castor 1985 et des stations d'échantillonnage en milieux lotique et lentique

Le lit de la rivière est surtout couvert de gravier grossier et de blocs. Au moment de l'échantillonnage le débit moyen a été estimé à 4,4 m^3/sec.

Les travaux de pulvérisation au Lac Castor ont débuté le 16 août, en après-midi, pour se terminer le 26 août, également en après-midi. L'échantillon témoin avait été prélevé le 15 août et les autres échantillons l'ont été les 20, 21 et 22 août. Après les travaux du 18 août en après-midi, 86 ha avaient été

traités. À cause des vents défavorables et de la pluie, aucune pulvérisation n'a eu lieu les 19 et 20 août. Les 21 et 22 août, une trentaine d'hectares qui se drainent en amont de la station 0 km ont été traités ainsi qu'un superficie équivalente entre les stations 0,5 et 1 km.

En milieu lentique, les deux mares échantillonnées sont situées dans la partie nord des zones traitées. Nous avons prélevé des échantillons dans une première mare sans écoulement, d'une superficie approximative de 40 m^2 et d'une profondeur de 0,3 m. Un loam argileux recouvre le fond de cette mare sur la moitié de laquelle croissent des plantes aquatiques du genre Callitriche (Callitriche sp.). Des Framboisiers et des Peupliers faux-tremble (Populus tremuloïdes) entourent ce plan d'eau. La deuxième mare que nous avons étudiée présente un écoulement; elle a une superficie de quelque 90 m^2 et une profondeur d'environ 1 mètre, compte tenu des débris organiques qui en jonchent le fond. Nous n'avons observé aucune plante aquatique; toutefois la mare était colonisée par d'Aulnes, de Saules (Salix sp.), de Sureaux pubescents (Sambucus pubens), de Cerisiers de Pennsylvanie (Prunus pensylvanica) et d'herbacées (graminées, verges d'or, etc.). Les échantillons ont été prélevés près de l'émissaire de la mare. Les deux mares ont été traitées directement le 26 août.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'étude du comportement des résidus de pesticides en milieu naturel est extrêmement complexe à cause du très grand nombre de variables impliquées. Par exemple, les caractéristiques du sol et de l'eau peuvent influencer l'importance du cheminement du phytocide ou modifier les différents processus de disparition. L'échantillonnage en milieu naturel présente cependant l'avantage d'intégrer les diverses interactions qui se produisent sur le terrain.

4.1 Variabilité des échantillons "identiques" lors de l'échantillonnage de résidus de glyphosate dans l'eau des milieux lentique et lotique

Le tableau 3 présente les concentrations obtenues dans des échantillons "identiques" prélevés en milieux lentique et lotique.

TABLEAU 3: Concentrations de glyphosate dans des échantillons "identiques" prélevés dans l'eau en milieu lentique et lotique

Milieu lentique[a] (µg/l)	Milieu lotique[b] (µg/l)
287	ND[c]
290	ND
402	ND
411	ND
427	ND
Moyenne 363 ± 80[d]	

[a] 13 heures après le traitement.
[b] 24 heures après le traitement.
[c] Non détecté (<1,00 µg/l).
[d] Limite de confiance 95%.

Les cinq échantillons prélevés 13 heures après le traitement dans la mare sans écoulement du projet Lac Castor, varient de 287 à 427 µg/l (moyenne : 363 µg/l; écart type : 65 µg/l. En acceptant une limite de confiance de 95%, la variabilité peut représenter plus ou moins 80 µg/l par rapport à la moyenne. La précision relative de la moyenne, basée sur la demi-longueur de l'intervalle de confiance, est estimée à 22%.

En milieu lotique, cinq échantillons avaient été recueillis 24 heures après les travaux de pulvérisation, à la station 0 km du projet Chapais. Dans tous les cas, on y a relevé des concentrations de glyphosate inférieures à la limite de détection de 1,00 µg/l. Les données dont nous disposons ne nous ne permettant pas de préciser les différences entre les échantillons, seuls les résultats obtenus en milieu lentique pourront être analysés d'un point de vue quantitatif.

À partir des cinq échantillons recueillis selon des modalités les plus identiques possibles, on remarque que le plus grand écart par rapport à la moyenne est de 21%, soit sensiblement le même que celui que l'on relève lors des tests de récupération du glyphosate dans l'eau (tableau 2). Cet écart respecte donc les variations dues aux limites de la méthode d'analyse. Ainsi, un seul échantillon ponctuel semble donc suffire pour évaluer le niveau de résidus de phytocides dans le milieu aquatique.

Une étude semblable avait été réalisée par le MER en 1983 sur des résidus de 2,4,5-T en milieu lentique. Pour les quatre échantillons analysés, le plus grand écart par rapport à la moyenne était alors de 11% pour 4 échantillons. La précision relative de la moyenne, basée sur la demi-longueur de l'intervalle de confiance (95%), se situait alors à 12%. La limite de détection était aussi de 1 µg/l (Laberge, 1984).

Il serait intéressant de répéter ces tests à des niveaux différents de concentration.

4.2 Comportement du glyphosate dans l'eau, en milieu lentique

Le tableau 4 présente les concentrations résiduelles de glyphosate trouvées dans des milieux lentiques qui ont été traités avec une même dose de produit qu'une superficie terrestre équivalente (1 495 g.i.a./ha). Des problèmes logistiques nous ont empêché de respecter la séquence d'échantillonnage prévue.

TABLEAU 4: Concentrations résiduelles de glyphosate en fonction du temps, dans l'eau en milieu lentique avec et sans écoulement, au projet Lac Castor, 1985

Temps après traitement (heures)	Mare stagnante Concentration µg/l	(%)	Mare avec écoulement Concentration µg/l	(%)
1	1 543	(100)	373	(100)
13	363[a]	(24)	175	(47)
20	28,8	(2)	30,9	(8)
45	13,8	(1)	ND[b]	
66	12,0	(1)	ND	
86	9,84	(1)	ND	

[a]Moyenne de 5 échantillons.
[b]Non détecté (<1,00 µg/l).

Deux mares situées dans le territoire couvert dans le projet Lac Castor ont servi pour cette expérience. Un de ces étangs a un écoulement de surface continu tandis que l'autre est stagnant. L'échantillonnage a commencé une heure après le traitement pour se terminer 86 heures après les pulvérisations de phytocide.

La figure 5 illustre l'évolution des résidus dans l'eau des mares. On a trouvé la plus forte concentration de résidus de glyphosate, dans la mare stagnante, une heure après la pulvérisation; elle était de 1 543 µg/l. Douze heures après le traitement, cette concentration avait diminué de plus de 75%. Dans la mare avec écoulement, le taux de glyphosate après douze heures avait baissé de 50% par rapport à celui qui avait été enregistré une heure après le traitement. Vingt heures après le traitement, plus de 90% du produit détecté initialement avait disparu des deux mares. On a alors enregistré des concentrations de 28,8 et 30,9 µg/l.

Quarante-cinq heures après le traitement, l'eau de la mare avec écoulement ne renfermait plus de résidus détectables (<1,00 µg/l). Dans l'étang stagnant on décelait toutefois des concentrations de 13,8, 12,0 et 9,84 µg/l pour les échantillons récoltés 45, 66 et 86 heures après la pulvérisation. Comme on

s'était limité à six périodes d'échantillonnage pour mener cette expérience, on ne peut suivre le processus complet de disparition du glyphosate dans la mare sans écoulement.

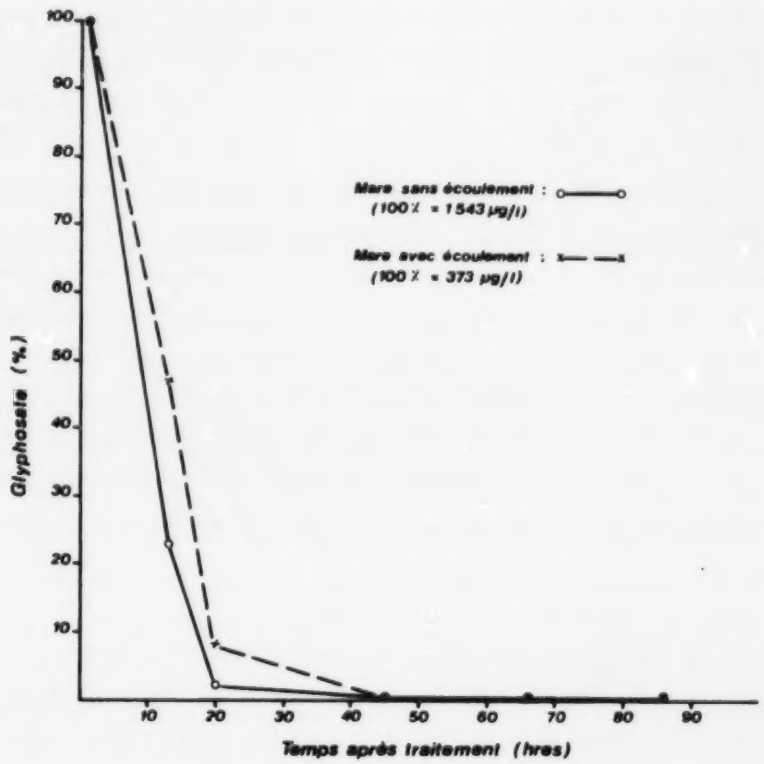


Figure 5 : Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau en fonction du temps, en milieu lentique avec et sans écoulement, au projet Lac Castor, 1985

Nous avions relevé les concentrations de glyphosate dans une deuxième mare sans écoulement. Cependant, comme la quantité de produit ayant atteint la mare initialement n'a pu être précisée et que la séquence d'échantillonnage avait été perturbée, les résultats obtenus sont inutilisables. Quatre-vingt-une heures après la pulvérisation, la concentration de glyphosate était de 1,57 µg/l. Nous n'avons détecté aucune trace de produit dans les échantillons prélevés 97, 121 et 145 heures après le traitement.

On note une différence importante entre les résultats obtenus dans les deux types de mare. Le comportement des résidus dans l'eau semble toutefois y suivre un cheminement similaire. On constate en effet une forte diminution des résidus de glyphosate dans l'eau dans les 20 premières heures suivant l'application, puis une baisse moins prononcée jusqu'à 86 heures après le traitement.

Lors de l'interprétation de ces données, on doit tenir compte de l'influence probable des précipitations qui ont affecté le projet Lac Castor (cf. annexe). Du 26 au 30 août, on a enregistré près de 41 mm de pluie dans la région concernée; ces précipitations ont eu un impact sur l'hydrodynamique des mares. Ainsi, 45 heures après la pulvérisation, le niveau de la mare sans écoulement avait grimpé de 15 cm (50%) par rapport au niveau de base établi lors du premier prélèvement. Pendant cette même période, le niveau de la mare avec écoulement avait monté de 5 cm (5%). De plus, les eaux de ces mares étaient brouillées lors des prélèvements effectués 45, 66 et 86 heures après le traitement. La turbidité pourrait également avoir influencé les résultats.

Nos résultats se comparent à ceux dont on fait état dans la littérature. Ainsi, Tooby (1985) rapporte que les concentrations de glyphosate semblent décroître rapidement dans les eaux dormantes. Il cite une expérience au cours de laquelle on a pulvérisé du Roundup^{MD} à 3,6 kg i.a. ha^{-1} sur une mare de 30 cm de profondeur. Après 4 heures, on y relevait une concentration maximale de 1 700 µg/l de résidus de glyphosate. Après 12 heures, on ne décelait plus que 50% de la valeur maximale initiale et huit jours plus tard, les concentrations étaient inférieures à la limite de détection (non précisée). Ce phénomène de disparition rapide du glyphosate dans les eaux naturelles a aussi été observé par d'autres auteurs (Sacher, 1978b; Newton et al., 1984).

Les diverses études menées sur le sujet démontrent que plusieurs agents sont responsables de la disparition du glyphosate en milieu aquatique. Dans le processus de dégradation biologique des micro-organismes produiraient, entre autres, de l'acide aminométhylphosphonique (AMPA)[1], principal métabolite de décomposition retracé jusquà maintenant.

---

[1] Abréviation anglaise de "aminomethylphosphonic acid"

Du dioxyde de carbone, de l'eau, de l'azote et des phosphates résulteraient de la dégradation complète (Grossbard et Atkinson, 1985).

Il semble que la dégradation biologique soit le premier processus à intervenir dans la décomposition du glyphosate (Sacher, 1978a). Elle serait rapide et complète. Rueppel et al.(1977) ont réalisé une expérience fort concluante dans ce domaine. En utilisant des milieux contrôlés stériles et non stériles, ils ont démontré que les micro-organismes peuvent décomposer le glyphosate alors que la dégradation chimique n'a que très peu d'importance dans son élimination. Placé dans un milieu aseptique, le glyphosate n'a pas été altéré alors qu'en milieu non stérile, il s'est transformé en dioxide de carbone, dans une proportion de 55% après 28 jours. Sacher (1978b) a observé un comportement semblable.

La dégradation photochimique qui provoquerait la formation de AMPA, semble être une forme de dégradation mineure (Rueppel, et al., 1977) sinon négligeable (Monsanto, 1984). Toutefois, une expérience récente de Lund-Hoie et Friestad (1986) semble indiquer que les rayons ultra-violets auraient un rôle plus important dans le processus de photodégradation.

Un phénomène d'adsorption par les particules du sol se traduirait par un ralentissement de la décomposition microbienne. Bronstad et Friestad (1985) font état d'une expérience en milieu contrôlé au cours de laquelle on est parvenu à extraire 50% du glyphosate appliqué initialement dans l'eau d'une mare artificielle. Cette expérience corrobore les observations de H.W. Frazier, cité dans ce même document, qui a noté que l'importante adsorption par les sédiments contribue pour une bonne part à la disparition du glyphosate retrouvé dans l'eau. Bronstad et Friedstad mentionnent également une autre étude qui démontre que l'interaction entre le glyphosate et les particules du sol est plus importante dans les sols qui renferment un taux élevé de phosphate, une forte teneur en matière organique et un faible pH.

Étant donné ces diverses observations, on envisage d'analyser les sédiments dans le cadre des prochains programmes d'échantillonnage. On pourra ainsi mesurer les niveaux de résidus retrouvés dans ce substrat. Signalons que les

résidus de glyphosate dans le sol ont été échantillonnés en 1985 et que ces analyses feront l'objet d'un rapport distinct.

4.3 Comportement du glyphosate dans l'eau en milieu lotique

Aucun phytocide n'avait été pulvérisé directement sur les ruisseaux qui ont été échantillonnés lors de cette étude. Le facteur de contamination responsable des plus hauts niveaux de résidus était ainsi éliminé (Norris, 1967; Léveillé et Laberge, 1983 et Léveillé et Laberge, 1984). Si on exclut le phénomène de dérive dans l'air, l'écoulement des eaux de surface s'avère la seule voie d'entrée du glyphosate dans les cours d'eau.

Les eaux de ruissellement peuvent transporter le produit de deux façons: en solution, après le lessivage du sol et du feuillage et par le transport de particules de matière minérales ou organiques auxquelles le produit est adsorbé. Les pluies peuvent influencer le degré de contamination des sites étudiés. D'autres facteurs entrent aussi en jeu, comme la largeur des bandes de protection et la distance entre le site et les zones traitées, entre autres. L'effet de dilution, attribuable à un apport d'eau non contaminée, peut aussi réduire les concentrations de résidus.

La structure de l'échantillonnage effectuée en milieu lotique tenait compte des variables "distance entre le site et la zone traitée", "temps écoulé depuis le traitement" et "largeur de la bande de protection".

Le tableau 5 présente les concentrations résiduelles de glyphosate trouvées en milieu lotique dans trois des zones de pulvérisation. Dans le cas des projets Kedgwick et Lac Castor, aucun témoin ne révèle la présence de glyphosate dans les milieux échantillonnés (<1,00 µg/l). Des proglèmes logistiques nous ont forcés à modifier la séquence d'échantillonnage prévue.

TABLEAU 5: Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau en milieu lotique, 1985

Temps après traitement (heures)	Concentrations de glyphosate (µg/l)				
	Stations				
	0 km	0,1 km	0,2 km	0,5 km	1 km
Chapais[a]					
6	ND[b]	ND	ND	ND	ND
24	ND	ND	ND	ND	4,72
33	ND	ND	ND	ND	ND
48	ND	ND	ND	ND	ND
Kedgwick[c]					
T[d]	ND				
10	ND			ND	ND
26	ND			ND	ND
32	ND			ND	ND
50	ND			ND	ND
57	ND			ND	ND
74	ND			ND	ND
80	ND			ND	ND
Lac Castor[c]					
T	ND				
38	ND			ND	ND
45	ND			ND	3,04
61	ND			--	--
68	--[e]			--	--
85	ND			ND	3,50
92	ND			ND	3,04

[a]Bande de protection de 30 m.
[b]Non détecté (<1,00 µg/l).
[c]Bande de protection de 60 m.
[d]Témoin.
[e]Échantillon endommagé au cours du transport.

Les résultats obtenus aux stations 0, 0,1, 0,2 et 0,5 km indiquent l'absence de résidu de glyphosate (<1,00 µg/l). Il faut rappeler qu'on avait conservé une bande de protection le long des ruisseaux et que les caractéristiques du produit permettaient d'anticiper peu de résidus dans l'eau. En effet, le glyphosate a la particularité d'être fortement adsorbé aux particules du sol.

Seulement 4 des 54 échantillons prélevés à différentes distances des zones traitées et à des moments différents après la pulvérisation dépassaient la limite de détection (< 1,00 µg/l). Ces quatre échantillons, qui renfermaient de faibles quantités de glyphosate (maximum : 4,72 µg/l), avaient été prélevés dans les stations situées à 1 km des blocs traités. Étant donné l'absence de résidus en amont, ces résultats étaient inattendus.

Le résultat obtenu à la station 1 km du projet Chapais (4,72 µg/l), 24 heures après la pulvérisation pourrait être attribuable à une contamination accidentelle lors de l'échantillonnage ou de l'analyse. Les résidus observés à la station 1,0 km du projet Lac Castor nécessitent certaines explications. Les travaux effectués dans ce secteur les 21 et 22 août ont pu contaminer un ruisseau non permanent (fossé) qui s'écoulait en aval de la station 0,5 km. La pulvérisation effectuée sur ce fossé, jointe aux précipitations (près de 7 mm) des 19 et 20 août, ont peut-être favorisé le déplacement du glyphosate du fossé au ruisseau.

Nous considérons que ces résultats sont représentatifs de l'état de l'eau aux abords des zones traitées. La contamination du milieu lotique s'avère donc négligeable.

Au cours des futures expériences, il serait intéressant de faire un parallèle entre la quantité de solides en suspension dans l'eau et les faibles concentrations de résidus qu'on y trouve.

4.4 Influence de la largeur des bandes de protection aux abords des cours d'eau sur les concentrations résiduelles

Tous les projets de pulvérisations réalisés en 1985 et supervisés par le ministère de l'Energie et des Ressources du Québec prévoyaient qu'aucun phytocide ne serait pulvérisé sur une bande de 60 mètres de part et d'autre des cours d'eau (Bélanger et Lécuyer, 1982). Le respect de cette zone tampon permet de prévenir toute application directe du produit dans le cours d'eau.

Pour vérifier l'efficacité d'une bande de protection moins large, nous avons exceptionnellement laissé une zone tampon n'ayant que 30 mètres, sur le site du projet Chapais.

Selon les résultats obtenus, il ne semble pas qu'en réduisant la bande de protection à 30 mètres on favorise la présence de résidus de glyphosate dans les cours d'eau. Nous n'avons en effet détecté aucun glyphosate dans les échantillons analysés. Newton et al. (1984) ont étudié le comportement du glyphosate dans un écosystème forestier de l'Orégon après une pulvérisation aérienne. Lors de cette expérience, aucune bande de protection n'avait été établie en bordure des cours d'eau. Des concentrations de glyphosate de 270 µg/l (ppb) ont été trouvées dans les premières heures suivant la pulvérisation. On conçoit donc bien l'influence des bandes de protection sur les résidus retrouvés dans l'eau des cours d'eau.

Nos résultats indiquent qu'il n'y a probablement aucune différence entre la contamination des ruisseaux protégés par des bandes de protection de 60 ou de 30 mètres lorsqu'on utilise un pulvérisateur à barillet de type BoomJet^{MD}. Il serait intéressant d'examiner l'influence de la végétation, du type de sol, des conditions de drainage et des variations de la pente de la bande de protection afin de confirmer ces résultats.

CONCLUSION

Des tests de récupération ont permis de valider la méthode d'analyse. L'influence du délai d'analyse et du mode de conservation des échantillons ont été vérifiés en laboratoire. Ces facteurs ne semblent pas modifier la valeur des résultats obtenus. On a aussi vérifié la représentativité des échantillons ponctuels (10 échantillons) qui reflétaient bien l'ordre de grandeur des concentrations résiduelles que l'on retrouve dans l'eau des milieux lotique et lentique. Il semble qu'un seul échantillon ponctuel permet d'évaluer la concentration de résidus à un moment donné.

En milieu lentique, traité directement, on trouve une concentration maximale de résidus de glyphosate de 1 543 µg/l une heure après la pulvérisation. Cette concentration diminue au moins de moitié après douze heures et on ne décèle plus que 9,84 µg/l de glyphosate dans l'eau après 86 heures. Ces résultats sont conformes à ceux que l'on retrouve dans la littérature.

En milieu lotique, protégé par des zones tampons, 54 échantillons ont été prélevés à différentes distances des sites traités et à des moments différents. Ces échantillons ne renfermaient aucun résidu détectable (< 1,00 µg/l) à l'exception de quatre échantillons qui dépassaient la limite de détection. La concentration maximale était de 4,72 µg/l. Selon nos résultats, une bande de protection de 30 mètres, exempte de toute pulvérisation directe, en bordure des cours d'eau, semble aussi efficace qu'une zone tampon de 60 mètres. On pourrait donc réduire la bande de protection de 60 à 30 m lorsqu'on utilise des pulvérisateurs à barillet de type BoomJet^{MD}.

Il s'avère important d'échantillonner les autres composantes du milieu comme le sol, la végétation (aquatique et terrestre) et les sédiments afin de préciser la répartition du produit dans l'environnement. Certaines de ces composantes ont été étudiées en 1985 et elles feront l'objet de rapports distincts.

Comme le glyphosate présente un comportement d'adsorption important avec la matière organique et/ou minérale, on devrait également étudier les résidus trouvés dans les sédiments.

BIBLIOGRAPHIE

BÉLANGER, P. et H. LÉCUYER, 1982. Normes relatives à l'utilisation de phytocides en milieu forestier. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, 60 p.

BRONSTAD, J.O. and H.O. FRIESTAD, 1985. Behaviour of glyphosate in the aquatic environnement. in E. Grossbard and D. Atkinson (eds.), The herbicide glyphosate. Butterworths and Co. (Publishers) Ltd., U.K., pp. 200-205.

COMES, R.D., V.F. BRUNS and A.D. KELLY, 1976. Residues and persistence of glyphosate in irrigation water. Weed Science 24(1):47-50.

GROSSBARD, E. and D. ATKINSON, eds., 1985. The herbicide glyphosate. Butterworths and Co. (Publishers) Ltd., U.K., 490 p.

GUINIVAN, R.A., N.P. THOMPSON and W.B. WHEELER, 1982. Derivation and cleanup improvements in determination of residues of glyphosate and amynomethylphosphonic acid in blueberries. J. Assoc. Anal. Chem. 65(1):35-39.

LABERGE, L., 1984. Différence intra-échantillons lors d'échantillonnage de résidus de 2,4,5-T en milieu aquatique. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, publ. 3307, 8 p.

LÉVEILLÉ, P. ET L. LABERGE, 1983. Résidus de 2,4-D et 2,4-DP en milieu aquatique lors d'entretien de plantation par voie aérienne (1981). Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, publ. 3301, 18 p.

LÉVEILLÉ, P. ET L. LABERGE, 1984. Comportement du 2,4,5-T en milieu aquatique après des pulvérisations terrestres et aériennes en milieu forestier au Québec, 1982. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources Service des pépinières et du reboisement, publ. 3303, 28 p.

LUND-HOIE, K. and H.O. FRIESTAD, 1986. Photodegradation of the herbicide glyphosate in water. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 36(5):723-729.

MONSANTO, 1984. The health and environmental safety aspects of Roundup^{R} herbicide: an overview. Roundup^{R} Herbicide Bulletin, January, 6 p.

MOYE, H.A., C.J. MILES and S.J. SHERER, 1983. A simplified high-performance liquid chromatographic residue procedure for the determination of glyphosate herbicide and (aminomethyl) phosphonic acid in fruits and vegetables employing postcolumn fluorogenic labeling. J. Agric. Food Chem. 31(1):69-72.

NEWTON, M., K.M. HOWARD, B.R. KELPSAS, R. DANHAUS, C.M. LOTTMAN and S. DUBELMAN, 1984. Fate of glyphosate in a Oregon forest ecosystem. J. Agric. Food Chem. 32(5):1144-1151.

NORRIS, L.A., 1967. Chemical brush control and herbicide residues in the forest environment. In symposium proceedings: Herbicides and vegetation management, Oregon State University, pp. 103-123.

RUEPPEL, M.L., B.B. BRIGHTWELL, J. SCHAEFER and J.T. MARVEL, 1977. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. J. Agric. Food Chem. 25(3): 517-528.

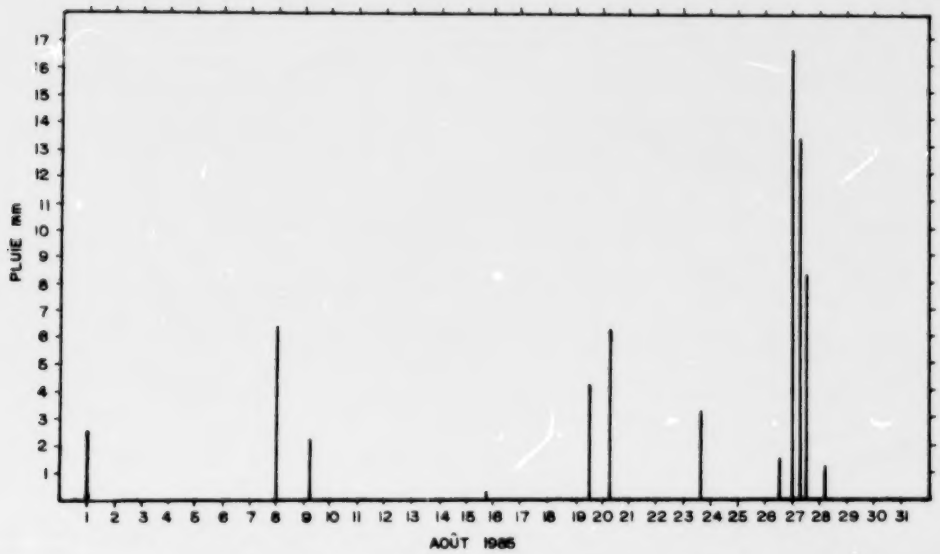
SACHER, R.M., 1978a. Safety of Roundup in the aquatic environment. Proceedings of the EWRS 5th symposium on aquatic weeds, Amsterdam, pp. 315-322.

SACHER, R.M., 1978b. Safety of Roundup in the environment. Proceedings, Roundup seminar, Madrid, (suppl. papers):3-23.

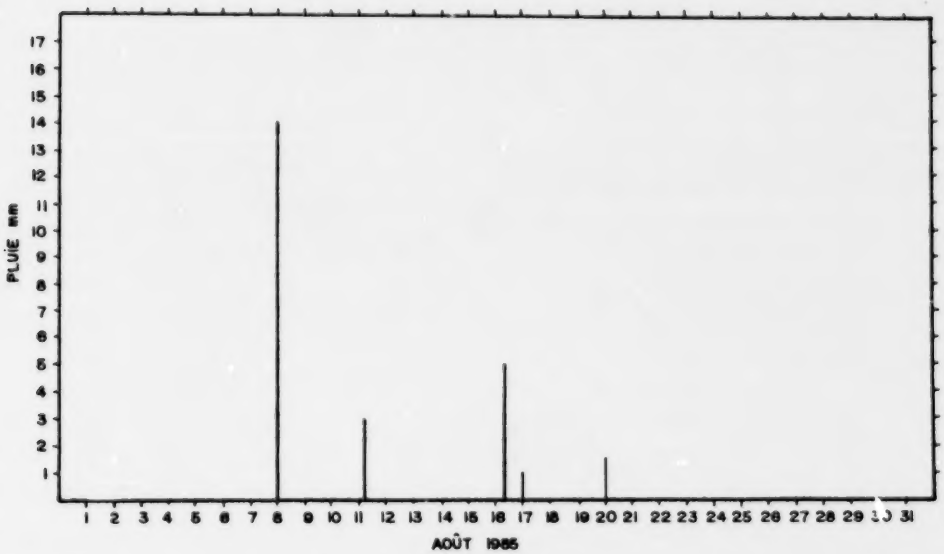
TOOBY, T.E., 1985. Fate and biological consequences of glyphosate in the aquatic environment. in E. Grossbard and D. Atkinson (eds.). The herbicide glyphosate. Butterworths and Co. (publishers) Ltd., U.K., pp. 206-217.

ANNEXE

Précipitations enregistrées en août 1985, à proximité des projets Chapais, Kedgwick et Lac Castor



Précipitations enregistrées lors du mois d'août 1985 à la station de Trinité des Monts près des projets de Kedgwick et du Lac Castor



Précipitations enregistrées lors du mois d'août 1985 à la station de St-Pamphile près du projet de Chapais

Source: Direction de la météorologie, Environnement Québec.

Gouvernement du Quebec
Ministère de l'Energie et des Ressources
Service des études environnementales